

# Etude de la sensibilité de méthodes électro-acoustiques pour l'Evaluation Non Destructive des bétons sous sollicitation dynamique

Stephen RAZAFINDRATSIMA, Jean-François LATASTE

Laboratoire I2M, Département Génie Civil et Environnemental, Université de Bordeaux, France

## RESUME

L'origine de la réponse électrique à une sollicitation dynamique pour caractériser le béton est étudiée au moyen de modélisation numérique. Comme les fréquences de vibrations peuvent être associées à un endommagement du béton, la réponse électrique est représentée en fonction de ces fréquences. Une analyse paramétrique en fonction de la variation de la porosité  $\phi$  ou de la constante diélectrique  $\epsilon$  est ensuite effectuée. Nous montrons que l'utilisation de la fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  (champ électrique  $E$  divisé par l'accélération  $\ddot{u}$ ) comme indicateur est meilleure que l'utilisation de  $E$  seul dans le cas d'une variation de porosité. Une dispersion intéressante de  $E/\ddot{u}$  est observée en fonction de la porosité pour les fréquences inférieures à 3000 Hz. La réponse électrique est inversement proportionnelle à la variation de  $\epsilon$  et par conséquent, l'utilisation de  $E/\ddot{u}$  n'apporte pas plus d'amélioration pour ce cas.

**Mots-clefs** Champ électrique, Cosismique, Piézoélectrique, Fréquence de vibration, Constante diélectrique, Porosité

## I. INTRODUCTION

L'origine de la réponse électrique d'une sollicitation dynamique sur un matériau est soit cosismique, par modification de la double couche électrique au niveau des composants de celui-ci, soit piézoélectrique par polarisation des éléments piézoélectriques. Dans la littérature, pour interpréter les réponses électriques à une sollicitation dynamique, l'apport de l'un de ces deux phénomènes est souvent négligé : soit la partie piézoélectrique (e.g. Russell et al., 1992), soit la partie cosismique (e.g. Fursa et al., 2017). Nous proposons dans ce travail d'associer ces deux phénomènes. Par ailleurs, les fréquences de vibrations et leurs modifications ont souvent été associées à un endommagement du béton (e.g. Kim et al., 2010; Kovalovs et al., 2017; Lundqvist and Rydén, 2012; Noble et al., 2016). Dans la littérature, il apparait que ces fréquences n'ont jamais été utilisées pour caractériser la réponse électrique à une sollicitation dynamique. Il est important d'associer les réponses électriques à des caractéristiques directement liées à l'état du matériau comme la porosité  $\phi$  ou la constante diélectrique  $\epsilon$ . Après la présentation de la modélisation numérique, par une analyse paramétrique sur les variations de la porosité  $\phi$  et de la constante diélectrique  $\epsilon$ , nous montrons que la représentation de la réponse électrique en fonction des fréquences de vibration est pertinente. Nous comparons enfin l'utilisation du champ électrique  $E$  seul ou de la fonction de transfert (Champ électrique divisé par l'accélération  $E/\ddot{u}$ ) pour mieux caractériser le béton.

## II. MODELE NUMERIQUE

Une dalle en béton de 50 cm x 25 cm x 20 cm est modélisée dans le domaine fréquentiel avec Comsol multiphysics ©. Les modules utilisés sont « Poroelastic Waves, Electric currents, Solid Mechanics, Electrostatics ». La source mécanique correspond à un coup de marteau de masse 1 kg sur une surface de 4 cm<sup>2</sup>. Un béton de référence a les propriétés suivantes : porosité  $\phi = 10\%$  ; module de cisaillement = 15 GPa ; coefficient de poisson = 0,2 ; masse volumique = 2300 kg.m<sup>-3</sup> ; élément de la matrice de couplage piézoélectrique considéré isotrope = 1176,47 C.cm<sup>-2</sup> (18 éléments identiques pour la même matrice) ; constante diélectrique  $\epsilon = 8$ . Ce modèle sert ensuite à déterminer les fréquences de vibration de la dalle jusqu'à 5000 Hz. Quatre points espacés de 4 cm sont définis avec la source mécanique se trouvant à 8 cm du premier point. Les valeurs du champ électrique  $E$  [V/m] ainsi que de l'accélération  $\ddot{u}$  [m/s<sup>2</sup>] entre le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> points sont ensuite déterminées pour chaque valeur des fréquences de vibration. Une analyse paramétrique est effectuée en changeant uniquement soit la porosité  $\phi$ , soit la constante diélectrique  $\epsilon$ . La réponse électrique totale (piézoélectrique et cosismique) est représentée soit par le champ électrique seul  $E$  [V.m<sup>-1</sup>] soit par la fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  [V.m<sup>-2</sup>.s<sup>2</sup>]

## III. RESULTATS ET DISCUSSION

Nos études préliminaires ont montré un décalage de la valeur du champ électrique  $E$  en fonction de la fréquence de vibration si on fait varier la masse volumique du béton étudié. Cette observation est identique à ce qu'on retrouve dans la littérature en ce qui concerne l'identification des endommagements du béton en fonction des fréquences de vibrations (références citées dans l'introduction). En effet, par définition, la fréquence de vibration est proportionnelle à la masse volumique. Il est toutefois à noter que les fréquences de vibrations ne sont pas toutes des fréquences modales (Eiras et al., 2018), mais dans cette étude, toutes les fréquences de vibrations, modales ou pas, jusqu'à 5000 Hz, avec un pas de 10 Hz, sont prises en compte. L'utilisation des réponses électriques associées à chaque fréquence de vibration est donc pertinente pour cette étude.

Le champ électrique  $E$  modélisé décroît proportionnellement avec la constante diélectrique  $\epsilon$  (Figure 1).

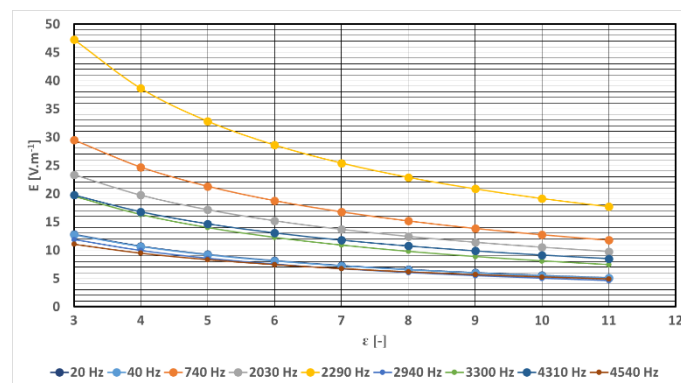


Figure 1. Champ électrique en fonction de la constante diélectrique  $\epsilon$  pour toutes les fréquences de vibration

Le champ électrique  $E$  varie de façon monotone (croissant ou décroissant) en fonction de la porosité  $\phi$  sauf pour les trois fréquences de vibration suivantes : 3300, 4310 et 4540 Hz (Figure 2). Cette observation semble indiquer que d'autres phénomènes interviennent pour les fréquences plus élevées en lien avec la porosité  $\phi$ . Ces trois fréquences correspondent à des modes de vibration de la dalle. La comparaison de la Figure 2 et de la Figure 3 nous montre que pour  $\varepsilon$  et  $\phi$ , la valeur maximale du champ électrique  $E$  est toujours observée pour la fréquence de vibration 2290 Hz. Mais il est difficile de distinguer les différentes valeurs de porosité  $\phi$  quand on représente  $E$  en fonction des fréquences de vibrations. Par contre, quand on utilise la fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  comme paramètre d'observation à la place de  $E$  seul, les porosités peuvent être distinguées entre 0 et 2940 Hz. Pour les fréquences de départ 20 et 2940 Hz, la dispersion (distinction en fonction de la fréquence de vibration) est inexistante. Mais entre ces deux fréquences, la fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  est croissante à la valeur de porosité  $\phi$ . On note aussi une amélioration de la facilité d'interprétation de la réponse électrique (ici  $E/\ddot{u}$ ) en fonction des valeurs de porosité  $\phi$ . Les trois modes de vibrations cités plus haut présentent des courbes en cloche ou en S (Figure 3), alors qu'ils avaient des allures non interprétables avec la représentation de  $E$  seul (Figure 2). Toutefois, la réponse électrique en fonction de la porosité  $\phi$  est difficilement interprétable entre 2940 et 5000 Hz, peu importe l'indicateur utilisé ( $E$  ou  $E/\ddot{u}$ ).

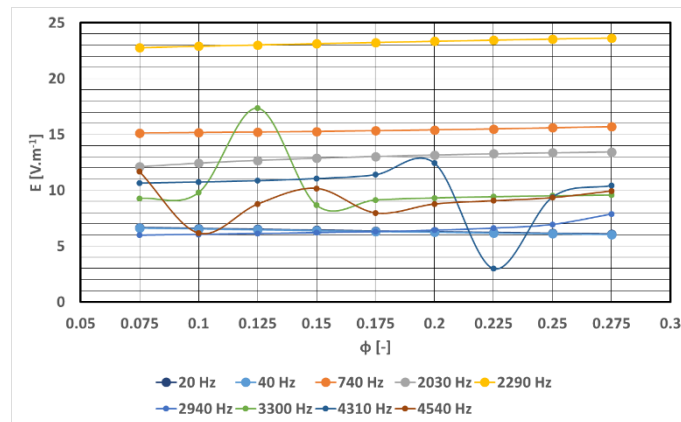


Figure 2. Champ électrique  $E$  en fonction de la porosité pour toutes les fréquences de vibration

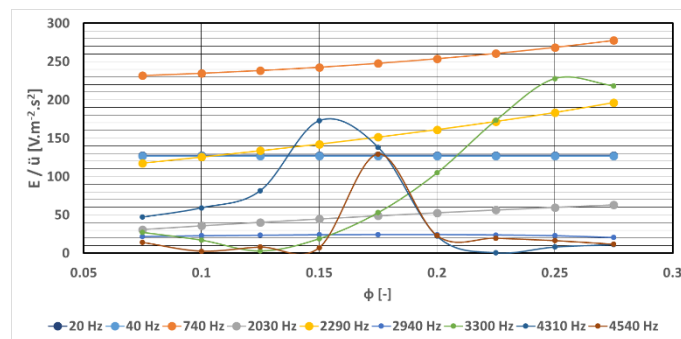


Figure 3. Fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  en fonction de la porosité pour toutes les fréquences de vibration

Pour les variations de la réponse électrique en fonction de  $\varepsilon$ , l'utilisation de  $E/\ddot{u}$  (figure non fournie) engendre un changement du classement selon les fréquences de vibration observées avec  $E$  seul, mais aucune fréquence de vibration n'est mise en avant. Cette représentation en fonction de la

fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  n'apporte donc pas d'amélioration dans l'étude de variation de la réponse électrique en fonction de la constante diélectrique  $\epsilon$ .

#### IV. CONCLUSION

Le modèle électrique développé couple les réponses cosismique et piézoélectrique d'une sollicitation dynamique. Une étude préalable met en évidence un décalage de la valeur du champ électrique en fonction de la variation de la masse volumique du béton quand on considère les fréquences de vibrations. L'utilisation de la réponse électrique en fonction des fréquences de vibrations est donc validée pour l'évaluation non destructive du béton sous sollicitation dynamique. Le champ électrique est inversement proportionnel à la constante diélectrique  $\epsilon$  pour toutes les fréquences de vibrations. La représentation du champ électrique en fonction de la fréquence de vibration ne permet pas de distinguer l'effet de la porosité  $\phi$ . Dans ce cas, le choix de la fonction de transfert  $E/\ddot{u}$  comme paramètre observé permet de distinguer les différentes valeurs de porosité jusqu'à 3000 Hz..

#### V. REMERCIEMENTS

Cet article fait partie du projet DCND, financé par le programme « Investissement d'avenir » du Gouvernement Français dont la gestion a été confiée à l'ANDRA.

#### VI. REFERENCES

- Eiras, J.N., Payan, C., Rakotonarivo, S., Garnier, V., 2018. Experimental modal analysis and finite element model updating for structural health monitoring of reinforced concrete radioactive waste packages. *Construction and Building Materials* 180, 531–543. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.004>
- Fursa, T.V., Dann, D.D., Petrov, M.V., 2017. Evaluation of freeze-thaw damage to reinforced concrete based on the parameters of electric response to mechanical impact. *Construction and Building Materials* 155, 451–462. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.099>
- Kim, J.-T., Park, J.-H., Hong, D.-S., Park, W.-S., 2010. Hybrid health monitoring of prestressed concrete girder bridges by sequential vibration-impedance approaches. *Engineering Structures* 32, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.08.021>
- Kovalovs, A., Rucevskis, S., Akishin, P., Kolupajevs, J., 2017. Numerical Investigation on Detection of Prestress Losses in a Prestressed Concrete Slab by Modal Analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 251, 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/251/1/012090>
- Lundqvist, P., Rydén, N., 2012. Acoustoelastic effects on the resonance frequencies of prestressed concrete beams—Short-term measurements. *NDT & E International* 50, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2012.04.010>
- Noble, D., Nogal, M., O'Connor, A., Pakrashi, V., 2016. The effect of prestress force magnitude and eccentricity on the natural bending frequencies of uncracked prestressed concrete beams. *Journal of Sound and Vibration* 365, 22–44. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.11.047>
- Pride, S., 1994. Governing equations for the coupled electromagnetics and acoustics of porous media. *Physical Review B* 50, 15678.
- Russell, R., Maxwell, M., Butler, K., Kopic, A., 1992. Electromagnetic responses from seismically excited targets A: Piezoelectric phenomena at Humboldt, Australia. *Exploration Geophysics* 23, 281–286.